



Aki Puska

## **HAPTISEN PALAUTE-ELEMENTIN KEHITYS**

# **HAPTISEN PALAUTE-ELEMENTIN KEHITYS**

Aki Puska  
Opinnäytetyö  
Kevät 2013  
Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma, sairaalateknologia

---

Tekijä(t): Aki Puska

Opinnäytetyön nimi: Haptisen palaute-elementin kehitys

Työn ohjaaja(t): Jaakko Kaski

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2013  
liitettä

Sivumäärä: 19+1

---

Työ on ovenavaus haptisiin ilmiöihin Hyvinvointiteknologian tutkimus- ja tuotekehityskeskus HYTKEssä, joka on työn tilaaja. Työn tavoitteena on kehittää haptinen palaute-elementti.

Työ alkoi tiedon haulla nykyisistä, jo olemassa olevista sovelluksista. Tätä seurasi selvitys erilaisista elementeistä joilla demonstrointilaitteen voisi toteuttaa. Teknisen rakentamisen ohessa käytettiin Labview-ohjelma koodausta. Haptinen palaute-elementti on sarja tariseviä moottoreita eli aktuaattoreita, jotka värinällä antavat tuntoaistimuksen eli haptisen palautteen.

Työn lopputuloksena saatiin haptinen demonstrointilaitte joka toimi odotetulla tavalla. Työssä myös selvisi että kovin pieni amplitudi, eli värähtelytaajuus, ei tunnu selkeältä pinnan muodolta. Suuremmilla amplitudi elementeillä lopputulos olisi mahdollisesti saatu vielä paremmaksi. Haptinen palaute-elementti toteutettiin upottamalla pöytälevyyn neljä lineaariresonanssiaktuaattoria. Näitä aktuaattoreita ohjattiin Labview-ohjelma koodilla.

Avainsanat: haptiikka, haptinen, tuntoaisti

## **ALKULAUSE**

Haluan kiittää kaikkia tukijoitani, jotka ovat tehneet mahdolliseksi opiskelujeni onnistuneen loppuun saattamisen. Tie on ollut raskas ja kivinen joten kaikki saatu apu oli todella tarpeen.

Rovaniemi 26.03.2013

Aki Puska

# SISÄLTÖ

|                            |    |
|----------------------------|----|
| TIIVISTELMÄ                | 3  |
| ALKULAUSE                  | 4  |
| 1 JOHDANTO                 | 7  |
| 2 TUNTOAISTI JA HAPTIikka  | 8  |
| 2.1 Tuntoaisti             | 8  |
| 2.2 Haptiikka              | 9  |
| 3 ELEMENTIN TEKNIikka      | 10 |
| 4 ELEMENTIN OHJAUS OHJELMA | 15 |
| 5 YHTEENVETO               | 18 |
| LÄHTEET                    | 19 |

## SANASTO

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Actuaattori                  | Toimilaite, moottori.  |
| Haptiikka                    | Kosketuskäyttäytyminen, yksi nonverbaalisen viestinnän osa-alueista. Haptiikkaa ovat esim. kätteleminen ja halaaminen. Tässä tapauksessa tarkoittaa sormin tunnettavaa tärinää.            |
| Labview                      | Suunnitteluohjelmisto, jolla pystytään graaffisesti toteuttamaan eri toimintoja.   |
| Pietsosähkö                  | Materiaali joka muuttaa muotoa sähkövirran vaikutuksesta ja tuottaa sähköä muodon muutoksesta.   |
| Somatosensorinen järjestelmä | Sisältää jäsenten asentoon ja liikkumiseen liittyvät aistit sekä ihoon liittyvät aistit kylmä, kuuma, kutitus sekä paine ja kipu, jotka voivat olla myös syvällä elimissä, ei vain iholla. |

# 1 JOHDANTO

Erilaiset haptiset sovellukset yleistyvät nopeasti mobiililaitteissa. Yksi yleisimmistä on matkapuhelimissa oleva värinä, joka esimerkiksi ilmoittaa kun puheli soi. Resistiivisiin kosketusnäyttöihin siirryttäessä näyttö ei anna minkäänlaista fyysistä vastetta painalluksesta. Näyttöihin on kehitetty erillaisia kalvoja, jotka antavat haptisen palautteen käskyn vastaanottamisesta (1).

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa laite demonstroimaan haptista ilmiötä yksinkertaisella ja helposti lähestyttävällä tavalla. Työn tuloksena tavoitellaan haptista palaute-elementtiä jolla värinän avulla luodaan tasaisesta pinnasta jokin muoto. Tuloksena tulee syntymään myös palaute-elementtiä hallitseva ohjelma Labview'llä toteutettuna. Työ toimii ponnahduslautana tulevaisuuden monimutkaisempiin sovelluksiin.

Haptiikka tutkimuksena, tieteenalana on jo vanha. Jo vuonna 1997 muun muassa peliohjaimissa oli värinätoimintoja, joilla tuotiin fyysistä palautetta ihmisen ja koneen väliin. Tästä esimerkkinä voidaan mainita Nintendon kehittämä rumble pack(2). Kehittyneempi sovellus on muun muassa SensAble Technologiesin Phantom (3), joka liitetään tietokoneeseen.

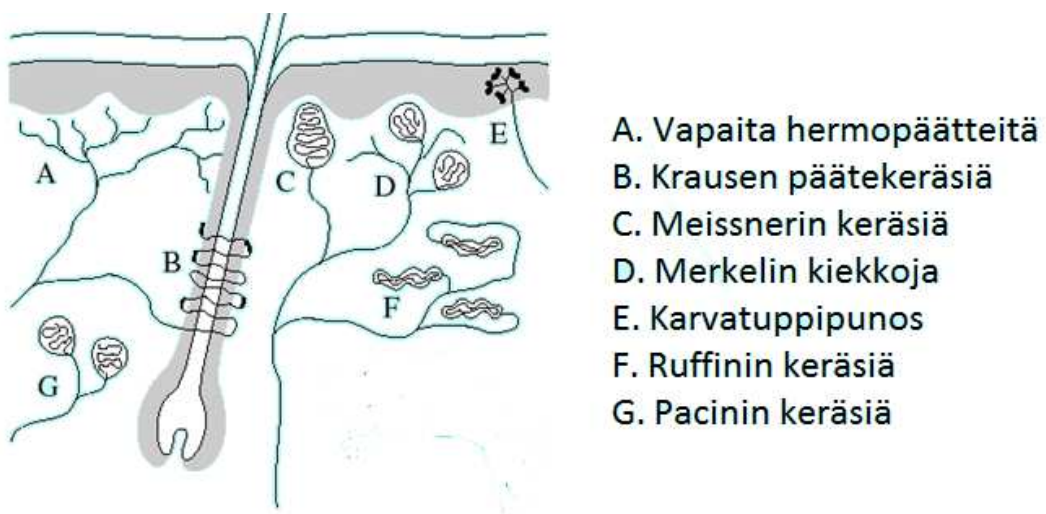
Työn tilaajana toimii Oulunseudun ammattikorkeakoulussa toimiva Hyvinvointiteknologian tutkimus- ja tuotekehityskeskus HYTKE. Työ on jaoteltu kolmeen eri osaan: tuntoaisti ja haptiikka, mekaaninen osuus ja ohjelmallinen osuus.

## 2 TUNTOAISTI JA HAPTIikka

Ihmisellä on viisi pääaistia maku-, näkö-, haju-, kuulo- ja tuntoaisti, riippuen määrittelijästä. Tuntoaisti jakautuu kosketus-, lämpötila-, paine-, kipu-, liike- ja asentoaisteihin(4). Tässä työssä keskitytään tarkemmin siihen, miten värinän avulla tasapintainen anturirivistö saadaan tuntumaan sormenpään alla esimerkiksi kuopalta tai kohoumalta. Työn aikana kokeiltiin viittä eri muotoa, joista vertailuarvona käytettiin tasaista pintaa laitteen ollessa kokonaan pois päältä.

### 2.1 Tuntoaisti

Tuntoaistinsa avulla ihminen saa tietoa omasta kehostaan sekä esineistä ja niiden ominaisuuksista (5). Ihmisen ihosta löytyy viisi erilaista tuntoaistinta. Ihmisen kipuaistimus syntyy vapaissa hermopäätteissä. Kuvassa 1 voidaan havaita seuraavat tuntoelimet. Krausen päätekeräsen on ihossa ja limakalvoissa esiintyvä hermopääte, joka on kosketustunnon nopeasti adaptoituva reseptori. Meissnerin keräset havaitsevat kevyen kosketuksen. Merkelin kiekot havaitsevat pidempiaikaista kosketusta. Karvatuppipunos reagoi karvan liikkeeseen. Ruffinin pääte havaitsee jatkuvaa kosketusta. Pacinin keräset havaitsevat värinää.



KUVA 1. Ihon aistinelimet



## 2.2 Haptiikka

Haptiikka eli tuntopalaute tarkoittaa ärsykettä, joka voidaan havaita ihon tuntoaistilla. Haptiikkaa on hyödynnetty nykyään ihmisen ja koneen vuorovaikutuksessa vähän. Tuntopalaute on hyvin paikallista rajoittuen palautteenantopaikkaan ja vain sen välittömään läheisyyteen. Tunto-, paine-, lämpö- ja kipuaistin muodostavat haptisen palautteen, jota somatosensorinen järjestelmä välittää aivoihin. (6.)

Tuntoaisti eroaa näkö- ja ääniaisteista kahdella tapaa, tuntoa aistivia reseptoreja on joka puolella kehoa, erityisesti huulissa ja sormien päissä. Lisäksi tuntoaisti on mekaaninen aisti, joka edellyttää aistittavan kohteen koskettamista. Haptiikkaa käytetään muun muassa tietokoneen osoitinlaitteissa, esimerkiksi tuntopalautehiirissä, joissa tuntopalaute johdetaan sormenpäihin tai kämmeen. (6.)

Haptisia palautteita tuotetaan esimerkiksi erilaisten ihoa koskettavien aktuaattorien avulla, joiden toiminta perustuu esimerkiksi solenoideihin, sähkömoottoreihin, hydraulikkaan, pietsosähköiseen ilmiöön tai paineilmaan. Tuntopalaute tuotetaan useimmiten ihokontaktin avulla, mutta sen voivat tuottaa myös esimerkiksi kovaa toistettua matalat äänet tai ilmavirta. Nämä aiheuttavat iholla tuntoaistimuksia, joita voidaan hyödyntää myös palautteena. (6.)

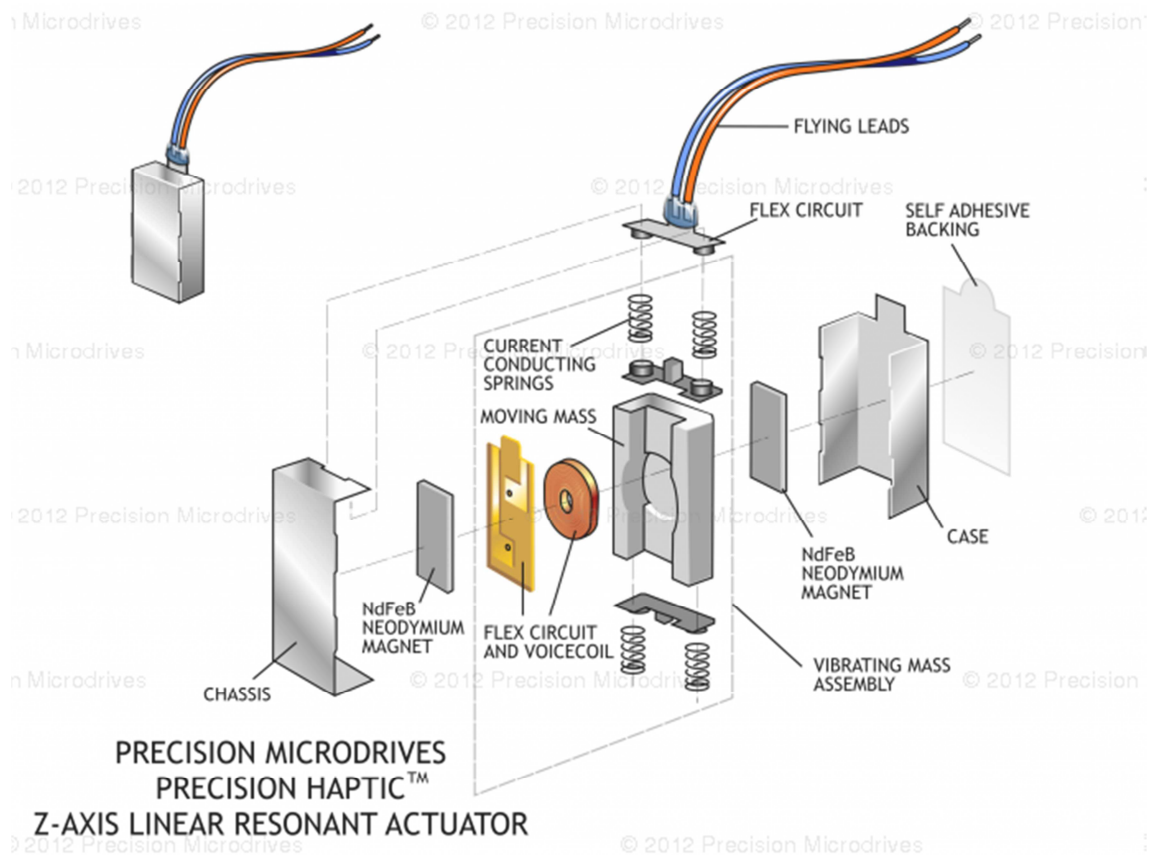
Yleisimmin tuntopalautteen tuottamiseen käytetään aktuaattoreita, jolloin puhutaan värinä- tai värinäpalautteesta. Ihminen kykenee aistimaan värinää, jonka taajuus on 20–500 Hz. Taajuuden lisäksi värinäpalautteella tuotetaan erilaisia aistimuksia värinän amplitudia, rytmiä tai kestoa muuttamalla. Tuhatta hertsiä korkeimmat taajuudet aistitaan erilaisina pintarakenteina. (6.)

### 3 ELEMENTIN TEKNIikka

Työn aluksi selvitettiin, millaisia haptisia laitteita on jo olemassa. Tuloksena hakutyölle tuli ettei tasaista, pöytäpinnan tapaista, prototyyppelementtiä löydy valmiina, vaan kaikki julkaisut ovat jo pidemmälle kehittyneempiä laitteita kuten johdannossa mainittu SensAble Technologiesin Phantom. Tiedon haun edetessä muodostui suunnitelma, jossa tietyllä elementillä muodostetaan värisevä pinta jota pitkin sormea vedetään.

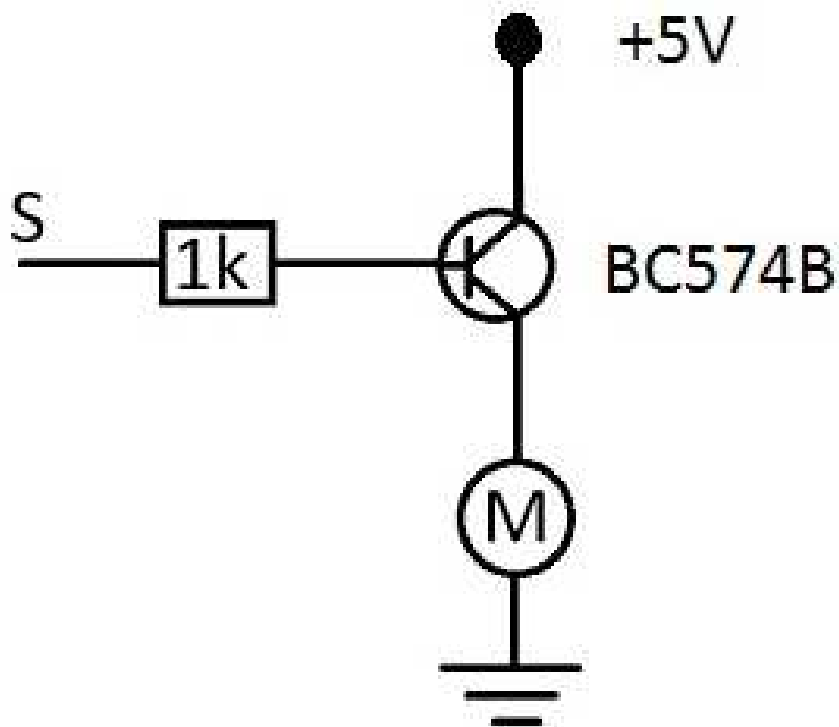
Ensimmäisenä mietittiin toteutusta pietsosähköisillä elementeillä. Pietsoja olisi ohjattu vaihtosähköllä, tietokoneella Labview-ohjelmalla tehtyä ohjelmaa käyttäen. Pian kuitenkin osoittautui, ettei pietso ole oikea elementti, sillä sen värinäilike on liian pientä jotta sen voisi tuntea. Lisäksi pietsot ovat pyöreitä isoja elementtejä, joita on hankala asettaa peräkkäin värisevän yhtenäisen pinnan muodostamiseksi.

Seuraavaksi etsittiin tietoja värähtelevistä moottoreista. Yleisin löydetty värähtelevä moottori oli rakenteeltaan normaali sähkömoottori, jonka akselin päässä oli epäkeskomassa. Sitten sattumalta hakusanoilla "vibration motor" päädyttiin [precisionmicrodrives.com](http://precisionmicrodrives.com) sivustolle jossa myytiin valmiita haptisia elementtejä. Näiden joukosta löysin sopivat lineaariresonanssiaktuaattorit. Elementit sopivat työn toteuttamiseen kokonsa, muotonsa ja ominaisuuksiensa vuoksi. Lineaariresonanssiaktuaattorin rakenne ilmenee kuvasta 2.



KUVA 2. Lineaariresonanssiaktuaattorin rakenne (7)

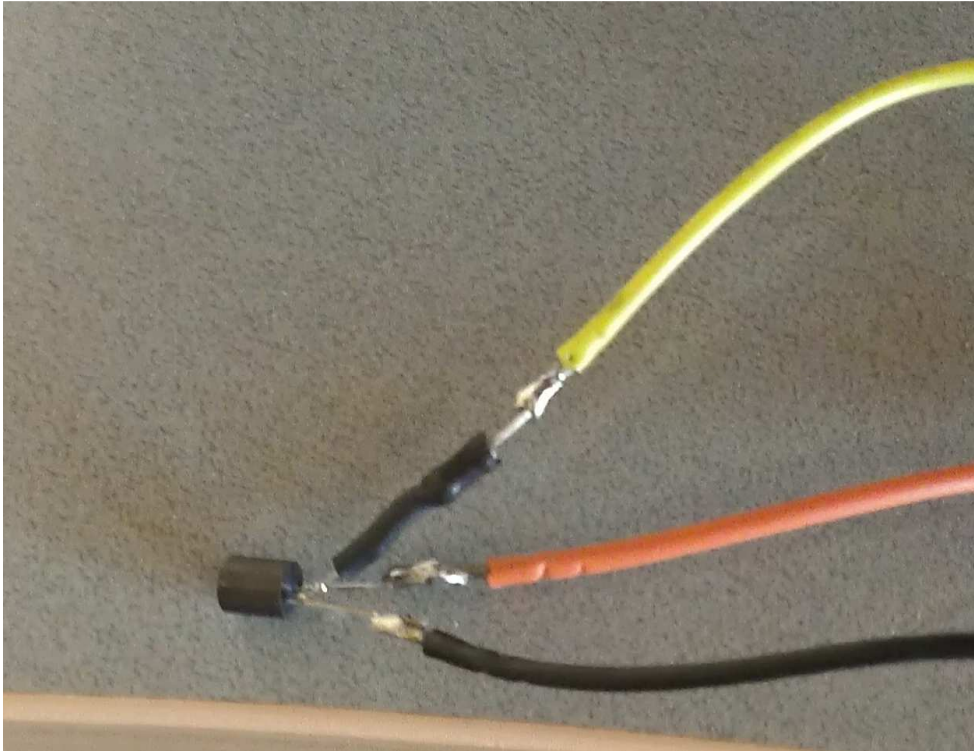
Kokeiltaessa ensimmäistä kertaa ohjelman ja elementtien yhteen toimivuutta, todettiin värinän olevan todella paljon pienempää kuin valmistajan antamissa spesifikaatioissa oli luvattu. Vikaa alettiin etsiä tietokoneen ulosannosta, joka osoittautui heti oikeaksi paikaksi. RMS-yleismittarilla todettiin vaihtojännitteen olevan huomattavasti pienempi kuin mitä tietokoneen näyttö kertoi ohjelmassa lähtevän ulos. Tämän ongelman ratkaistiin valmistamalla yksinkertainen vahvistin jännitteelle. Vahvistimeksi valittiin BC574B-yleistransistori. Vahvistimen tehtävänä on vahvistaa tietokoneen piirikortilta tuleva heikko signaali, jotta aktuaattorit toimisivat. Kuva 3 esittää vahvistinkytkennän sekä sen arvot.



*KUVA 3. Vahvistinkytkenä arvoineen*

Kuvasta 3 ilmenee tietokoneelta tuleva kantisignaali S, joka kulkee fyysisen 1000 ohmin vastuksen lävitse transistorin kantaan. Käyttöjännite, 5 V, kulkee transistorin kollektoriin. Transistorin emitteristä vahvistettu signaali kulkee aktuaattoriin M, ja siitä maahan.

Kuvassa 3 on transistorivahvistin käytännössä. Johdot näkyvät järjestyksessä: keltainen, ohjaussignaali tietokoneelta, punainen, 5 V vakiojännite ja musta, joka yhdistyy moottoriin eli aktuaattoriin. Moottori on yhdistetty maahan.



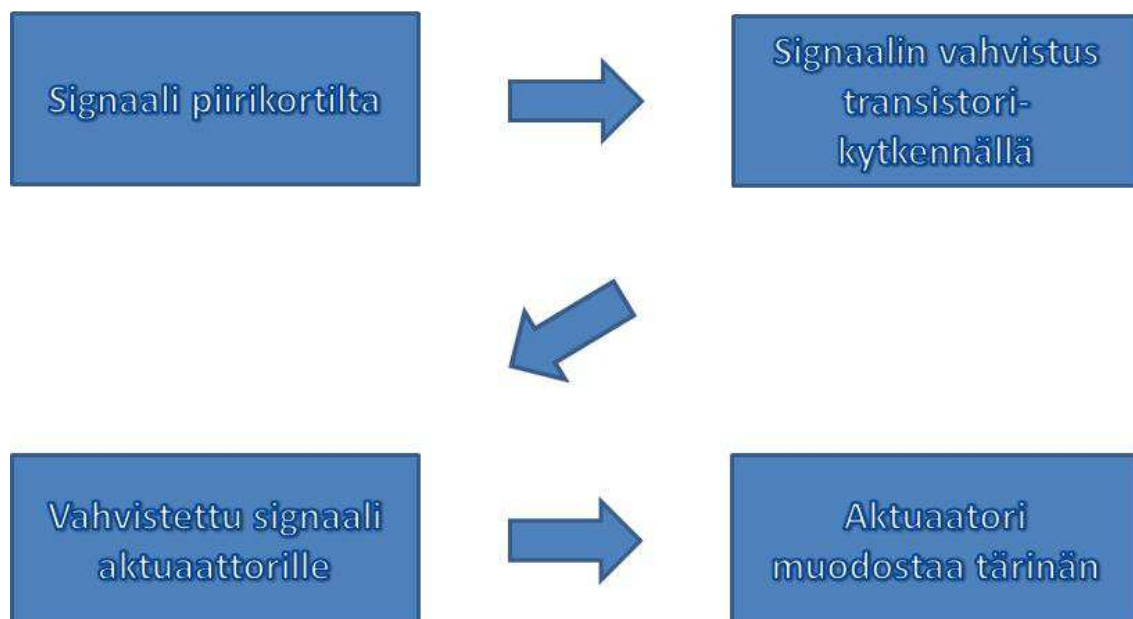
*KUVA 4. Transistorivahvistin*

Lopullinen haptinen palaute-elementti on aukollinen pöytäpinta jossa on neljä kappaletta lineaariresonanssiaktuaattoreita kiinnitettynä toisiinsa silikonilla, sekä asennettuna pöydänpinnan tasalle (kuva 5). Aktuaattorit tuottavat värähtelyä jolla tuotetaan tuntoaistimus koskettaessa. Neljän aktuaattorin toiminnat mahdollistivat erilaisia aistimuksia pinnan muodoista. Teoriassa kytkemällä päissä olevat aktuaattorit päälle, keskimmäisten ollessa pois päältä, saadaan aikaan tuntemus kuopasta. Vastakohtaisella kytkennällä saadaan taas aikaiseksi tuntemus kohoumasta. Kaltevia pintoja simuloidaan kytkemällä etu- tai takareunan aktuaattorit päälle tai pois päältä.



*KUVA 5. Pöytäpinta jossa on neljä lineaariresonanssiaktuaattoria kiinnitettyinä toisiins; kosketuspinan mitat leveys 5,6mm ja pituus 13,8mm*

Kuva 6 selventää tekniikan toimintaa.

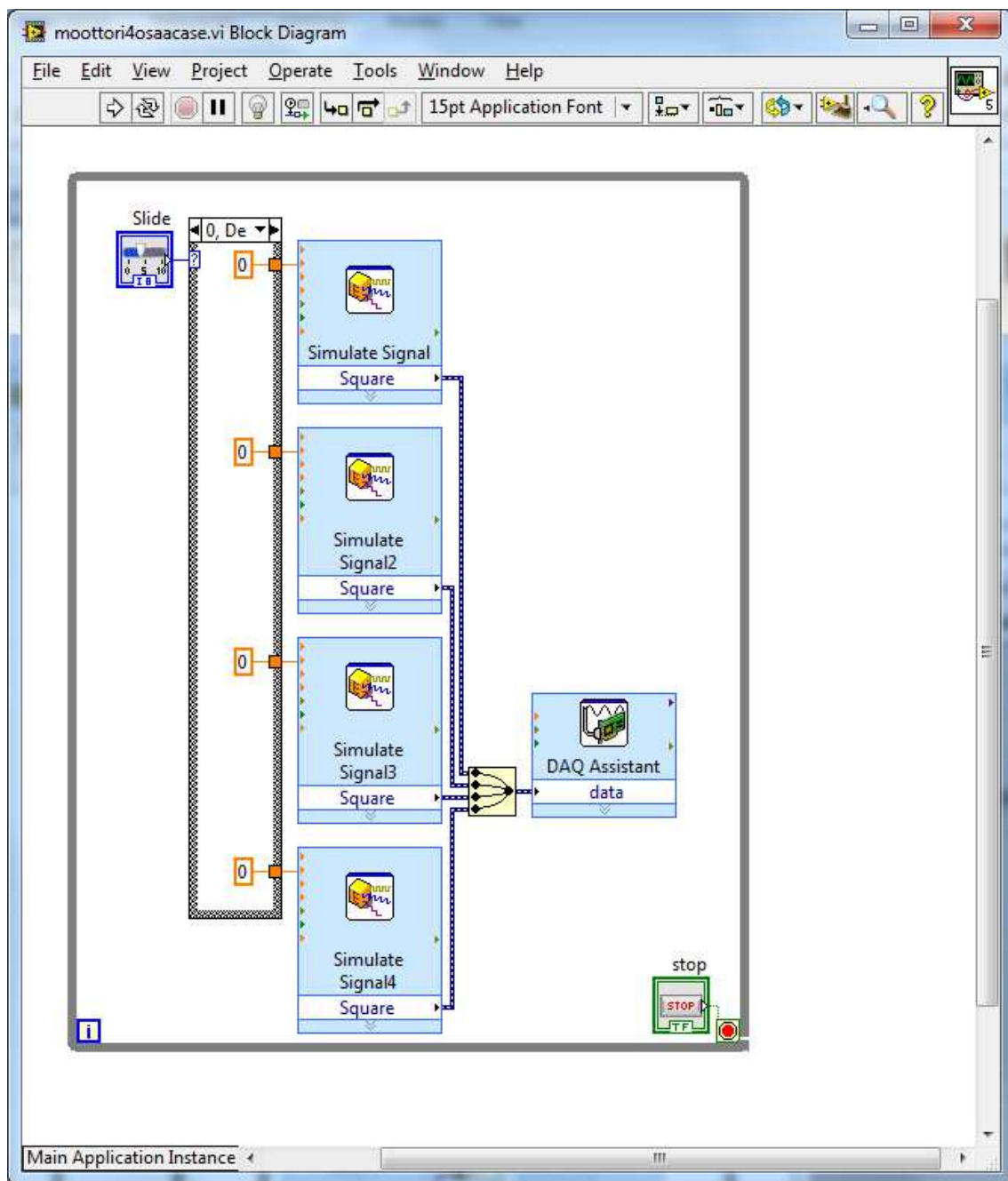


*KUVA 6. Tekniikan toimintakaavio*

## 4 ELEMENTIN OHJAUSOHJELMA

Ohjelman kehitys alkoi tavallisten ledien ohjauksesta. Tehtiin kahdeksan ledin kytkentä kytkentälevylle esivastuksineen. Aluksi ohjaus tapahtui digitaalilähdöllä 0 V tai 5 V, eli päälle ja pois päältä. Kun lineaariresonanssiaktuaattorit saapuivat, ilmeni tehtaan spesifikaatioista, että moottoreita oli ohjattava vaihtovirralla analogiapuolella. Tämä tuotti ongelmia, sillä vaikka Labview tukikin useaa analogista lähtöä, tietokoneessa ei riittänyt portteja kuin kahteen analogialähtöön. Ongelma saatiin ratkaistua National Instrumentsin NI-PCI 6259-mittakortilla josta löytyi neljä analogiaporttia. Tämäkään ei ollut riittävästi mutta resurssien puitteissa toteutettiin sovellus näillä välineillä. Optimaalisesti olisi tarvittu viidestä kuuteen analogista lähtöä viiden–kuuden elementin ohjaamiseen.

Haptista palaute-elementtiä ohjattiin tietokoneella. Ohjaava ohjelma on toteutettu Labview-graafisella ohjelmointikielellä (3). Labview oli selvä valinta tähän projektiin, koska sen tiedettiin soveltuvan hyvin tällaiseen tehtävään. Ensimmäisenä ongelmana oli kuinka moottoria voidaan säätää tietokoneella. Labview tarjosi tähän erinomaiset mahdollisuudet erilaisine mittakortteineen. Tarvitsi vain valita NI-PCI 6259-mittakortti neljällä analogiaulostulolla ja sen jälkeen luoda mittakorttia ohjaava Labview-ohjelma. Kuvassa 7 on kuvattu ohjelman rakennetta nolla-arvossa.

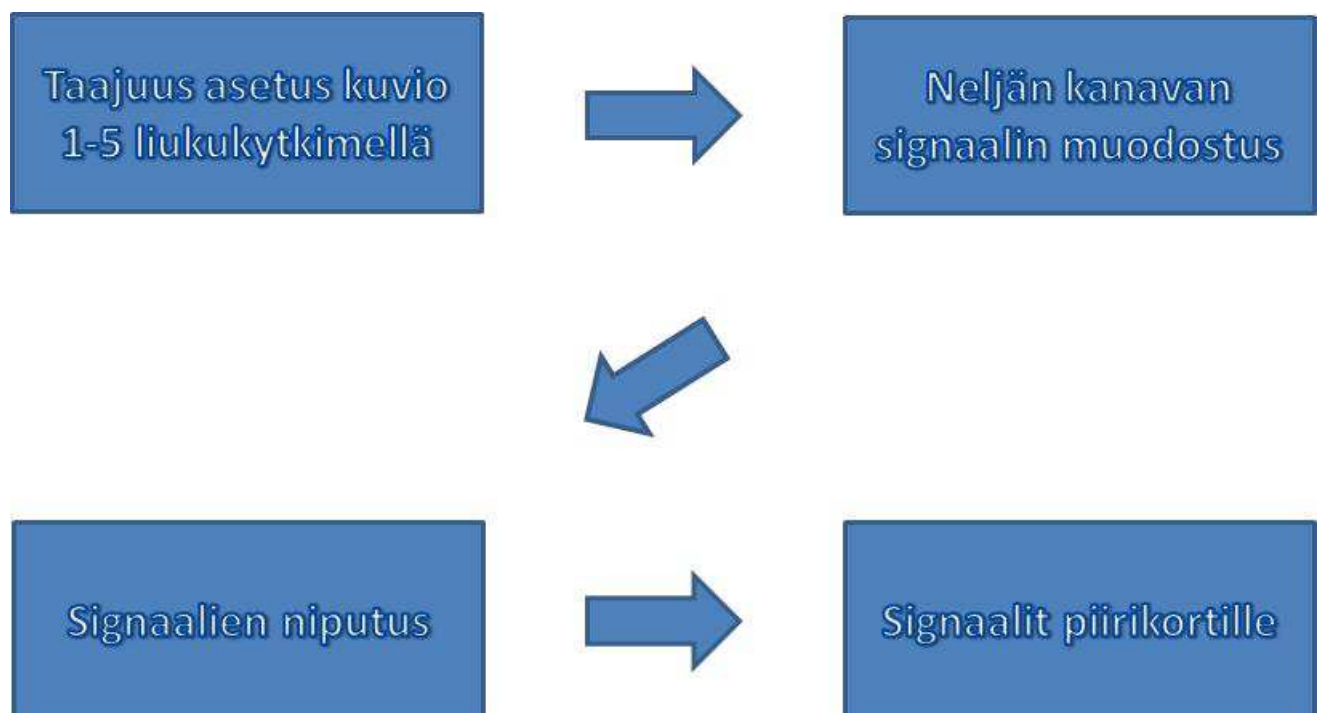


KUVA 7. Ohjelman rakenne nolla-arvossa



Kuvasta 7 näkee että tässä tapausrakenteessa on viisi asetussarjaa. Näiden sarjojen välillä liikutaan kytkimellä "Slide". Jokainen tapaus antaa neljälle eri signaaligeneraattorille taajuusarvon 0 Hz tai 174,8 Hz riippuen halutusta kuvios-  
ta. Kuvioita on viisi. Taajuus 174,8Hz oli valmistajan antama resonanssitaajuus jolla aktuaattorin tärinä oli voimakkaimmillaan.

Ensimmäisessä kuviossa kaikki aktuaattorit ovat pois päältä (taajuusarvo 0 Hz). Toisessa kuviossa haetaan kuopan tuntumaa, kun reunimmaiseta aktuaattorit ovat päällä ja tuottavat tuntoaistimusta ja kaksi keskimmäistä aktuaattoria ovat pois päältä. Kolmannessa kuviossa haetaan kohouman tuntua kun keskimmäiset aktuaattorit ovat päällä ja reunimmaiseta pois päältä. Neljännessä kuviossa haetaan aaltoilevaa tuntemusta kun jokatoinen aktuaattori on päällä ja jokatoinen pois päältä. Viimeisessä viidennessä kuviossa kaikki aktuaattorit ovat päällä. Kun halutun kuvion mukainen signaaliyhdistelmä on luotu, signaalit niputetaan ja viedään piirikortin ulosmenoihin. Kuva 8 selventää tekniikan toimintaa.



KUVA 8. Ohjelman toimintakaavio

## 5 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa haptinen demonstrointilaitte. Lopputuloksena tälle tutkimus- ja kehitysprosessille saatiin haptinen demonstrointilaitte ja laitetta ohjaava ohjelmisto. Tuloksena saatiin myös tieto ettei työssä käytetyillä elementeillä saada aikaan tarpeeksi voimakasta amplitudia jotta sillä saisi selkeän tuntuman.

Kokeet suoritettiin liu'uttamalla etusormea anturirivistöä pitkin ylhäältä alas. Valittavasti toivotut pinnan muodot jäivät tuntematta. Alussa moottorit oli kiinnitetty toisiinsa moottorin pinnassa olleella liimalla, mutta värinä eteni päällä olleesta moottorista viereisiin pois päältä olleisiin moottoreihin. Moottoreiden kiinnitystä yritettiin myös silikonilla, mutta tästä ei ollut hyötyä. Silikonin ainoa seuraus oli että koko moottoripakan resonanssitaajuus kasvoi yli 200Hz:n. Resonanssin kasvu johtui yhteen liimaamisesta joka teki aktuaattoreista kytketyn värähtelijän. Eli yksi aktuaattori ei enää ollut yksin vaan siihen oli kiinnitetty massa, tai toinen värähtelijä sen mukaan, oliko viereinen aktuaattori päällä vai pois päältä.

Alkuperäisiin suunnitelmiin kuului laitteen testaaminen 30 ihmisellä, jotta kokeen luotettavuus saataisiin varmistettua. Laajempi testaus päätettiin kuitenkin perua, koska pienellä ydinryhmällä suoritetuissa kokeissa ei havaittu kuvioista mitään aistituntemusta.

Seuraava askel työssä olisi etsiä elementit joilla saadaan suurempi amplitudi. Tästä seuraisi, että tuntuma olisi selkeämmin sormella havaittavissa. Yli 1000 Hz:n värähtely tunnetaan pinnanrakenteena. Tulevaisuutta ajatellen tämä työ oli oven avaus haptisiin ilmiöihin ja pitkälle vietyä on hyvinkin mahdollista kehittää jopa puhelimen näytön päälle tulevia kalvoja. Nämä kalvot antavat haptisen palautteen esimerkiksi painalluksesta. Haptisten tekniikoiden käyttö tulevaisuudessa on lähes rajaton.

Seuraava vaihe työn jatkoa ajatellen olisi etsiä värähtelijät joiden värähtelytaajuus on yli 1000Hz. Myöhemmin löydetystä teoriasta kävi ilmi että ihminen aistii yli 1000Hz värähtelyn pinnanrakenteena.

## LÄHTEET

1. Tactus teknologia 2013. Saatavissa: <http://tactustechnology.com/>. Hakupäivä 25.07.2012.
2. N64 Blog 2013 Nintendo rumble pack, Saatavissa: <http://n64blog.com/2013/03/07/peripheral-vision-the-rumble-pak/>. Hakupäivä 19.03.2013.
3. Sensable 2013. Saatavissa: <http://www.sensable.com/>. Hakupäivä 25.07.2012.
4. Wikipedia, vapaa tietosanakirja 2013. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Aisti>. Hakupäivä 25.07.2012.
5. Papunet 2012. Saatavissa: <http://www.papunet.net/tietoa/tuntoaisti-vuorovaikutuksessa>. Hakupäivä 03.01.2013.
6. Suomisanakirja 2012. Saatavissa: <http://suomisanakirja.fi/haptiikka>. Hakupäivä 05.02.2013.
7. Precision microdrives 2013. Saatavissa: <http://www.precisionmicrodrives.com/vibrating-vibrator-vibration-motors/linear-resonant-actuator-lra-haptic-vibration-motors>. Hakupäivä 25.06.2012.

